

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-221499

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月21日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
G 2 1 K 5/02		G 2 1 K 5/02 X
G 0 3 F 7/20	5 0 3	G 0 3 F 7/20 5 0 3
H 0 1 J 35/00		H 0 1 J 35/00 C
H 0 1 L 21/027		H 0 5 H 1/24
H 0 5 G 2/00		H 0 1 L 21/30 5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数11 OL (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-24731

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月7日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 松井 哲也

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 山田 喜美雄

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 西 政嗣

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

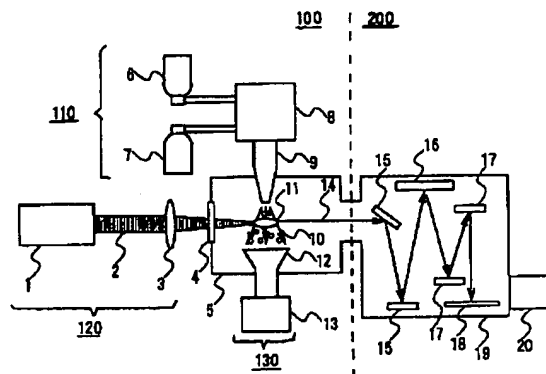
(54) 【発明の名称】 レーザプラズマX線源およびそれを用いた半導体露光装置並びに半導体露光方法

(57) 【要約】

【課題】 デブリの発生が少なく、X線変換効率が高いレーザプラズマX線源およびそれを用いた半導体露光装置並びに半導体露光方法を提供する。

【解決手段】 X線発生部100は、ターゲットの周りを取り囲む真空容器5、微粒子混合ガスをターゲットとして真空容器5内に供給するターゲット供給装置110、微粒子混合ガスタarget 10にレーザ光2を照射するレーザ照射装置120、および真空容器5内の微粒子混合ガスを回収するターゲット回収装置130から構成される。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成し、そのプラズマからX線を発生させるレーザプラズマX線源において、

前記ターゲットは粒子と気体とを混合したものであり、前記ターゲットを噴射するターゲット噴射装置と、前記レーザ光を噴射された前記ターゲットに照射するレーザ照射装置を備えることを特徴とするレーザプラズマX線源。

【請求項2】前記粒子の径は、前記ターゲットに照射されるレーザ光の径より小さいことを特徴とする請求項1のレーザプラズマX線源。

【請求項3】前記気体は希ガスであることを特徴とする請求項1のレーザプラズマX線源。

【請求項4】前記粒子は、低融点の金属であることを特徴とする請求項1のレーザプラズマX線源。

【請求項5】前記ターゲットは、それぞれの特性X線の波長がほぼ同じである金属粒子と希ガスとの混合体で構成されることを特徴とする請求項1のレーザプラズマX線源。

【請求項6】レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成し、そのプラズマからX線を発生させるレーザプラズマX線源において、

前記ターゲットは粒子と気体とを混合したものであり、前記ターゲットを噴射するターゲット噴射装置と、前記ターゲット噴射装置の噴射口に対向して開口する回収口を有し、前記ターゲットを回収するターゲット回収装置と、前記レーザ光を噴射された前記ターゲットに照射するレーザ照射装置を備え、前記レーザ照射装置は、前記噴射口と前記回収口との間の前記ターゲットに、前記レーザ光を照射するものであることを特徴とするレーザプラズマX線源。

【請求項7】前記レーザ照射装置は、前記レーザ光を線状に収束する収束レンズを有し、線状に収束されたレーザ光が前記ターゲットに照射されることを特徴とする請求項1のレーザプラズマX線源。

【請求項8】請求項1のレーザプラズマX線源と、前記レーザプラズマX線源で発生したX線をマスクに導く集光ミラーと、前記マスクで反射したX線を縮小して半導体ウエハに投影するX線縮小露光ミラーとを備えることを特徴とする半導体露光装置。

【請求項9】レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成させ、そのプラズマからX線を発生させ、発生したX線を半導体ウエハに導いて前記半導体ウエハに半導体装置パターンを露光する半導体装置露光方法において、

粒子と気体とを混合するステップ、混合された粒子と気体とを真空容器中に噴射するステップ、および、噴射された粒子と気体との混合体をターゲットとしてレーザ光を照射するステップを有することを特徴とする半導体装

置露光方法。

【請求項10】レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成し、そのプラズマからX線を発生させるレーザプラズマX線源において、

前記ターゲットは粒子と気体とを混合したものであることを特徴とするレーザプラズマX線源。

【請求項11】レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成させ、そのプラズマからX線を発生させ、発生したX線を半導体ウエハに導いて前記半導体ウエハに半導体装置パターンを露光する半導体装置露光方法において、

粒子と気体とを混合するステップ、および、粒子と気体との混合体をターゲットとしてレーザ光を照射するステップを有することを特徴とする半導体装置露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成し、そのプラズマからX線を発生させるレーザプラズマX線源に関する。

【0002】

【従来の技術】特開平6-281799号公報は、巻き取りされるテープ状の固体ターゲットにレーザ光を照射してX線を発生させることを記載する。

【0003】特開昭61-153935号公報は、滴下された液体金属にレーザ光を照射してX線を発生させることを記載する。

【0004】特開平2-100297号公報は、レーザ光のスポット径よりも小さいビュレット状のターゲットにレーザ光を照射してX線を発生させることを記載する。

【0005】特願昭57-41167号公報は、固体化された希ガスや水の粒子にレーザ光を照射してX線を発生させることを記載する。

【0006】「オーエスエー・トレンド・イン・オブティクス・アンド・フォトリクス、第4巻、エクストリーム・ウルトラバイオレット・リソグラフィ(OSA, Trends in Optics and Photonics, vol. 4, EXTREME ULTRAVIOLET LITHOGRAPHY) (1996年)、66頁」は、真空容器中に加圧ガスを噴射し、噴射されたガスにレーザ光を照射してX線を発生させることを記載する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】レーザ光がターゲットに照射されると、ターゲット中の原子や分子は光学的に絶縁破壊(オブティカルブレイクダウン)してイオン化し、レーザプラズマが発生する。発生したレーザプラズマからX線が発生する。ターゲットの元素の種類や状態によって、オブティカルブレイクダウンに必要なレーザ光強度は異なる。オブティカルブレイクダウンが起こるときのレーザ光強度の下限値をブレイクダウン閾値という。

【0008】ブレイクダウン閾値は、1:気体(ガ

ス)、2:液体、3:固体の順に高い。言い換えれば、同数の原子をプラズマ化するためのレーザー光強度は、固体および液体のターゲットを用いる場合、気体よりも低くすることができる。従って、液体および固体のターゲットを用いる場合は、X線変換効率(照射したレーザーのエネルギーに対する発生したX線のエネルギーで表わされる)は気体のターゲットを用いる場合よりも高い。

【0009】しかし、レーザー径よりも大きい塊状やテープ状などの固体および液体のターゲットでは、レーザー光が照射された領域がプラズマ化するとき、レーザー光の照射によって発生する熱がレーザー光が照射された領域の周辺に伝わり、その周辺が溶融する。そしてレーザープラズマの発生に伴う膨張圧力で溶融した部分が飛散する。この飛散片はデブリと呼ばれ、その状態としてはイオン状、クラスタ状のものから、数10 μ mの粒子状のものまである。このデブリは、真空容器内の光学素子などに付着して損傷を与える。

【0010】固体および液体のターゲットをレーザー径よりも小さい粒子状にすれば、周囲に粒子がないからデブリも減少し、X線変換効率は固体および液体と変わりが
20 ないが、粒子状のターゲットをレーザー光の照射にあわせて供給することは難しく、安定してX線を発生させることも困難である。

【0011】希ガス等の化学的に安定な気体を氷結させた粒子のターゲットは、溶融しても希ガス等の化学的に安定な気体になるので、デブリを発生しないが、供給することは難しく、安定してX線を発生させることも困難である。また、特性X線の波数が限られるため、所望する波長と差があると、実質的にX線変換効率は金属ターゲットよりも低くなる。

【0012】一方、気体のターゲットでは、固体および液体のターゲットに比べて、周囲への熱伝導が小さく溶融が起こらないからデブリは少なく、連続して供給できるので安定してX線を発生させることができるが、ブレイクダウン閾値が高く、またターゲットの原子数密度も低い
ためX線変換効率は固体および液体よりも低い。本発明の目的は、デブリの発生が少なく、X線変換効率が高いレーザープラズマX線源およびそれを用いた半導体露光装置並びに半導体露光方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の特徴は、粒子と気体とを混合してターゲットとし、ターゲット噴射装置がターゲットを噴射し、レーザー照射装置が噴射されたターゲットにレーザー光を照射することにある。この特徴によれば、粒子と気体とを混合したターゲットの熱伝導は小さく、レーザー光が照射された領域の周辺部の粒子の溶融が起こらないので、デブリの発生を少なくすることができる。

【0014】また、粒子と気体とを混合したターゲットは噴射されて流体となり、レーザーパルスに対して常にタ

ーゲットが供給されるので、X線を安定に発生させることができる。

【0015】また、粒子と気体とを混合したターゲットのレーザー光が貫く体積は気体のみのターゲットの場合と同じであるが、ブレイクダウン閾値は固体のターゲットと同様で気体のみターゲットよりも低いので、気体のみのターゲットよりもプラズマ化可能領域が大きく、プラズマ化可能領域に多くの粒子と気体分子が含まれるから、オプティカルブレイクダウンする微粒子の数は、粒子のみターゲット、および、気体のみのターゲットの場合より多くなるので、発生するX線の輝度も、粒子のみターゲット、および、気体のみのターゲットより高くすることができる。よって、X線変換効率も高くすることができる。

【0016】また、プラズマ化可能領域に多くの粒子と気体分子が存在し、オプティカルブレイクダウンが起こらない頻度は0であるから、レーザー光を照射すれば必ずレーザープラズマが生成され、レーザー光を無駄にせずにX線を安定に発生させることができる。

【0017】本発明の他の特徴は、粒子の径がターゲットに照射されるレーザー光の径より小さいことにあり、プラズマ化可能領域により多くの粒子が存在するので、発生するX線の輝度はより高くすることができる。

【0018】本発明の他の特徴は、気体が希ガスであることにあり、希ガス分子は化学的に安定なため、イオンの状態で真空容器内の光学素子などに付着しても、電子と結合して中性化するのでデブリとして付着しない。よって、結果的にデブリにならないので、デブリの発生をより少なくすることができる。

【0019】本発明の他の特徴は、粒子が低融点の金属であることにあり、レーザー光が照射された粒子は完全にプラズマ化するので、デブリの発生を少なくすることができる。

【0020】本発明の他の特徴は、ターゲットは、それぞれの特性X線の波長がほぼ同じである金属粒子と希ガスとの混合体で構成されることにある。この特徴によれば、プラズマ中で金属粒子と希ガス分子は、同じ波長のX線を放出するので、ターゲットにどちらか一方を含む場合よりも輝度の高いX線が得られる。

【0021】本発明の他の特徴は、粒子と気体とを混合してターゲットとし、ターゲット噴射装置がターゲットを噴射し、ターゲット回収装置がターゲット噴射装置の噴射口に対向して開口する回収口を有してターゲットを回収し、レーザー照射装置が、噴射口と回収口との間のターゲットにレーザー光を照射することにある。この特徴によれば、プラズマ化しなかった粒子および気体分子や定常状態に戻った粒子および気体分子を回収するので、真空容器内を低圧に保つことができ、発生したX線の損失を防ぐことができる。

【0022】本発明の他の特徴は、レーザー照射装置がレ

ーザ光を線状に収束する収束レンズを有し、線状に収束されたレーザ光がターゲットに照射されることにある。この特徴によれば、線状に収束されたレーザ光が照射されると、葉巻型のプラズマが発生し、プラズマの長軸方向に多くX線が放出される、強度が大きいX線を得ることができる。

【0023】本発明の他の特徴は、集光ミラーが請求項1のレーザプラズマX線源で発生したX線をマスクに導き、X線縮小露光ミラーがマスクで反射したX線を縮小して半導体ウエハに投影することにある。この特徴によれば、レーザプラズマX線源でデブリの発生が少ないので、半導体露光装置の集光ミラー、マスク、X線縮小露光ミラーなどのX線光学素子や真空隔壁の損傷を防ぐことができる。また、レーザプラズマX線源から安定に輝度が高いX線が供給されるので、露光が不足することがなく、露光時間を短くすることができる。

【0024】また、ターゲット噴射装置によって噴射を行わずに、粒子と気体とを混合してターゲットとしてレーザ光を照射しても、粒子と気体とを混合したターゲットの熱伝導は小さく、粒子の溶融が起こらないので、デブリの発生を少なくすることができ、粒子のみのターゲット、および、気体のみのターゲットよりもX線変換効率

【0025】

【発明の実施の形態】発明者らは、固体および液体ターゲットの高いX線変換効率およびX線の高い輝度と、気体ターゲットの少ないデブリに着目し、固体または液体をレーザ径よりも十分小さい微粒子状のターゲットにすることを考え付いた。そして、安定してX線が発生させるために、固体および液体の微粒子状のターゲットを気体に混合し、真空容器中に噴射して供給することを発明した。

【0026】また、発明者らは、固体または液体の微粒子と気体を混合したターゲット（以下、微粒子混合ガスターゲットと称する）について、気体を含んでいるがブレイクダウン閾値は固体または液体の粒子のブレイクダウン閾値と同じであることを実験で確かめ、塊状およびテープ状の固体または液体ターゲットよりやや小さいが、固体または液体の微粒子のみからなるターゲット（以下、微粒子ターゲットと称する）、および、気体のみからなるターゲット（以下、気体ターゲットと称する）に比べて、大きなX線変換効率を有することを発見した。

【0027】以下で、微粒子混合ガスターゲットを用いるX線源およびそれを用いた半導体露光装置の実施例について説明する。

【0028】（実施例1）本発明の第1の実施例であるレーザプラズマX線源を用いた半導体露光装置を図1に示す。半導体露光装置は、X線が発生するX線発生部100と露光部200とから構成される。露光部200は、

X線発生部100で発生したX線14をX線集光ミラー15でマスク16に導き、マスク16で反射したマスクパターンをX線縮小露光ミラー17で縮小してウエハ18（試料）に投影するものである。X線発生部100を詳しく説明する。X線発生部100は、ターゲットの周りを取り囲む真空容器5、微粒子混合ガスをターゲットとして真空容器5内に供給するターゲット供給装置110、微粒子混合ガスターゲット10にレーザ光2を照射するレーザ照射装置120、および真空容器5内の微粒子混合ガスを回収するターゲット回収装置130から構成される。

【0029】ターゲット供給装置110は、レーザ径よりも十分小さい金属微粒子が充填された微粒子タンク6、希ガスが充填されたガスボンベ7、微粒子タンク6から供給される金属微粒子と、ガスボンベ7から供給される希ガスを混合する混合器8、および混合器8でつくられた微粒子混合ガスを真空容器5中に噴射する供給ノズル9を備える。

【0030】レーザ照射装置120は、レーザ光2を発生するレーザ光発生器1、およびレーザ光2を収束する収束レンズ3を備える。レーザ光発生器1は、YAGレーザやエキシマレーザなどの、パルス幅が数10ns以下で、1パルスあたりの出力が数10mJから数10Jのレーザ光2を発生するものがよい。レーザ光2は、真空容器5中の微粒子混合ガスターゲット上で数10〜数100 μ mになるように収束レンズ3で収束される。レーザプラズマ11を発生させるために、微粒子混合ガスターゲット10上でのエネルギー密度は $10^{15} \sim 10^{22}$ W/m²程度がよい。

【0031】ターゲット回収装置130は、真空容器5内に供給され、プラズマ化しなかったまたは定常状態に戻った金属微粒子および希ガスを引き込む回収ダクト12、および回収器13を備える。

【0032】真空容器5内には、供給ノズル9の噴射口と回収ダクト12の回収口とが対向するように配置されている。レーザ照射装置120からのレーザ光2は、真空容器5の壁面に設けられたレーザ光透過窓4を透過して、供給ノズル9から噴射された微粒子混合ガスターゲット10に照射される。真空容器5内は、真空ポンプ（図示せず）によって低圧力に保たれている。例えば、真空容器5中の圧力を $10^{-2} \sim 10^{-3}$ torrとし、供給ノズル9内の圧力を数torr以上にすれば、微粒子混合ガスターゲット10は、噴出して流体の状態となる。そして、プラズマ化しなかったまたは定常状態に戻った微粒子混合ガスターゲット10は回収ダクト12に入り、真空容器5内から除去される。

【0033】微粒子混合ガスターゲット10に収束させたレーザ光2を照射すると、レーザ光2の強力な電場などにより、微粒子混合ガスターゲット10中の金属元素と希ガス分子は光学的に絶縁破壊（オプティカルブレイ

クダウン)をしてイオン化する。金属元素と希ガス分子のイオン化により発生した電子が、逆制動輻射などの過程によりレーザ光2のエネルギーを吸収して加熱され、微粒子混合ガスターゲット10のレーザ光2が貫く範囲に、高温高密度なレーザプラズマ11が形成される。

【0034】レーザプラズマ11の電子温度や密度は、微粒子混合ガスターゲット10に含まれる金属元素と希ガスの元素の種類、およびレーザの種類や条件によって異なるが、電子温度で数100 eV以上、電子密度で $10^{20} \sim 10^{22} / \text{cm}^3$ 程度のプラズマが発生するとよい。

【0035】レーザプラズマ11中の電子の制動輻射、プラズマの再結合過程における自由-自由遷移や自由-束縛遷移の過程により、レーザプラズマ11から連続的なスペクトルのX線が放出され、また、プラズマの再結合過程における束縛-束縛遷移の過程により、特性X線が放出される。レーザプラズマ11から放出されたX線は隣接する露光部200で用いられる。

【0036】次に、プラズマ化可能領域内の粒子の数とX線の発生との関係について、説明する。

$$K(x) = \frac{\alpha^x}{x!} e^{-\alpha}$$

【0040】(ただし、 $\alpha = nV$)したがって、微粒子のブレイクダウン閾値から決まるプラズマ化可能領域の体積Vを求めて(数1)に代入し、微粒子混合ガスの微粒子密度nを変えれば、確率K(x)でプラズマ化可能領域内の微粒子を所望の数にすることができる。

【0041】次に、微粒子混合ガスターゲット10にレーザ光2を照射してレーザプラズマ11を発生させるときの、プラズマ化可能領域における微粒子の数とオプティカルブレイクダウンする微粒子の数について説明する。実験ではYAGレーザの第2高調波(波長532 nm)のレーザ光2を用い、出力100 mJ/パルス(パルス幅約10 ns)で、レーザ収束部断面の径を約10 μm とした。微粒子混合ガスには0.5 μm の径の微粒子と希ガスを用いた。

【0042】レーザ照射方向(図2のz方向)での1パルスのレーザを照射しレーザプラズマを生成させた時の可視光の発光強度分布を測定した結果を図3に示す。微粒子(金属微粒子と希ガス分子)がプラズマ化して強く発光すると、すなわち、微粒子がオプティカルブレイクダウンすると、発光強度のピークとなって測定される。プラズマ化可能領域内にオプティカルブレイクダウンした微粒子が1個ある場合(a)はピークが1つ現われ、プラズマ化可能領域内にオプティカルブレイクダウンした微粒子が2個ある場合(b)は2つのピークが現われる。

【0043】1パルスのレーザを照射しレーザプラズマを生成させた時のオプティカルブレイクダウンした微粒子の数(実験値)の頻度分布と、(数1)のポアソン分布を用いて計算したオプティカルブレイクダウンした微

*【0037】収束レンズ3で収束させたレーザ光2の形状とレーザ光強度分布との関係を図2に示す。レーザ光2が収束されて径が小さいところほど、レーザ光強度は大きい。微粒子混合ガスターゲット10のレーザ光2によって貫かれる領域のうち、レーザ光強度がブレイクダウン閾値以上の領域ではオプティカルブレイクダウンが起こりレーザプラズマが発生するが、レーザ光強度がブレイクダウン閾値以下の領域ではレーザプラズマは発生しない。レーザプラズマが発生する領域をプラズマ化可能領域という。

【0038】微粒子の径がレーザ収束部断面の径よりも十分小さいなら、プラズマ化可能領域内にx個の微粒子が存在する確率(K(x))はポアソン分布に従い、次式で表される。ここで、プラズマ化可能領域の体積をV(m^3)、微粒子混合ガスターゲット10中の微粒子密度をn($/\text{m}^3$)とする。

【0039】

【数1】

…(数1)

粒子の数(計算値)の頻度分布を、プラズマ化可能領域内の平均粒子数 α ごとに図4に示す。

【0044】平均粒子数 α が約1.5以下では、計算値と実験値はほぼ一致し、理論通りプラズマ化可能領域内の微粒子がオプティカルブレイクダウンすることがわかる。また、この場合は、レーザを照射してもレーザプラズマが発生しなかった状態(ブレイクダウンが0である状態)の頻度が高い。

30 【0045】一方、平均粒子数 α が6.6の場合は、実験値の頻度分布が計算値からずれている。すなわち、実験でオプティカルブレイクダウンした微粒子の数は計算値よりも少ない。これは、オプティカルブレイクダウンした微粒子がレーザ光を吸収するので、多くの微粒子がオプティカルブレイクダウンするとレーザ光強度が不足し、それ以上の微粒子がブレイクダウンできないためと考えられる。しかし、レーザ光強度をさらに強くすれば、オプティカルブレイクダウンする微粒子の数を増やすことができる。

40 【0046】また、この場合は、オプティカルブレイクダウンが起こらない頻度(オプティカルブレイクダウンする微粒子の数が0の頻度)は0であるから、レーザ光を照射すれば必ずレーザプラズマが生成される。従って、この程度の条件の方が、レーザ光を無駄にせずにX線を安定に発生させることができる。

【0047】本実施例によれば、以下の効果が得られる。

【0048】本実施例では、レーザ光の径よりも小さい金属微粒子と希ガスを混合した微粒子混合ガスターゲットを用いることにより、金属微粒子ターゲット、およ

び、希ガスターゲットよりもX線変換効率がよい。

【0049】微粒子混合ガスターゲットは、熱伝導が小さく、レーザ光を照射された領域の周辺部で金属微粒子の溶融が起こらず、希ガス分子はデブリにならないので、デブリを少なくできる。

【0050】レーザ光が貫く微粒子混合ガスターゲットの体積は希ガスターゲットの場合と同じであるが、ブレイクダウン閾値は固体金属ターゲットと同様に気体ターゲットよりも低いから、気体ターゲットよりもプラズマ化可能領域が大きい。そして、このプラズマ化可能領域に多くの金属微粒子と希ガスの分子が含まれるから、オプティカルブレイクダウンする微粒子の数は、金属微粒子ターゲット、および、希ガスターゲットの場合より多くなるのでX線の輝度は高くなる。

【0051】また、プラズマ化可能領域に多くの微粒子が存在するので、オプティカルブレイクダウンが起こらない頻度は0であるから、レーザ光を照射すれば必ずレーザプラズマが生成され、レーザ光を無駄にせずにX線を安定に発生させることができる。

【0052】本実施例では、金属微粒子と希ガスを混合したターゲットを真空容器5内に噴射し、噴射されて流体となったターゲットにレーザ光が照射されるので、レーザパルスに対して常にターゲットが供給されるので、X線を安定に発生させることができる。

【0053】本実施例では、プラズマ化しなかったターゲットを回収するので、真空容器5内を低圧に保つことができ、真空容器5内のガスによるX線の吸収を防ぐので、発生したX線の損失を防ぐことができる。

【0054】本実施例では、金属微粒子を用いたが、金属に限らず、プラズマ化してX線を発生するものであればよい。また、低融点の微粒子を用いれば、プラズマ化可能領域内でより完全に原子状に分解されるので、デブリの発生を抑制することができる。

【0055】また、固体または液体の微粒子の元素、および気体の元素には、所望のX線の波長帯と同じ特性X線を発生する元素を選ぶとよい。レーザプラズマでは、物質は非常に高い価数までイオン化できるので、K殻、L殻のみならず、M殻以上の特性X線を発生できる。例えば、SnやSbなどの元素の微粒子を用いれば、SnやSbなどはM殻の特性X線が13nm近傍であるので、軟X線領域の13nm近傍のX線が得られる。また、気体に13nm近傍の特性X線を放出するXeを用いても、13nm近傍のX線が得られる。SnやSbなどの元素の微粒子とXeガスを混合してターゲットに用いれば、ターゲットにどちらか一方を含む場合よりも輝度の高い13nm近傍のX線が得られる。

【0056】(実施例2) 本発明の第2の実施例を図5により説明する。本実施例は、第1の実施例のレーザプラズマX線源に、放出されるX線に指向性をもたせ、X線が取り出される方向に飛散して来るデブリを回収する

装置を設けた例である。

【0057】第1の実施例と同様に、真空容器（図示せず）内に供給ノズル9から噴射された微粒子混合ガスに、収束レンズ3で収束させたレーザ光2を照射してX線を発生させる。本実施例ではレーザ光2を線状に収束させる収束レンズ3を用い、放出されるX線の周りに電子ビーム22を照射する電子銃など（図示せず）を真空容器の窓（図示せず）を介して真空容器外に設け、さらに、放出されるX線の周りに負電圧を印加したイオン回収電極24を設ける。

【0058】線状に収束されたレーザ光2が微粒子混合ガスターゲット10に照射されると、葉巻型のレーザプラズマ11が発生し、レーザプラズマ11の長軸方向に多くX線14が放出される。このように放出されるX線に指向性をもたせると、強度が大きいX線を得ることができる。

【0059】長軸方向に飛散してくる粒子状または原子状のデブリ21に電子ビーム22を照射すると、粒子状または原子状のデブリ21は完全に陽イオン化する。陽イオン化したデブリ21はイオン回収電極24に引かれて回収される。この回収電極24は、プラズマ化してイオン状で飛散してくるデブリも回収できる。従って、X線の取り出し部（図示せず）のデブリ21を極めて減らすことができ、X線光学素子や真空隔壁の損傷を防ぐことができる。

【0060】また、電場でイオン化したデブリ21を回収する回収電極24のかわりに、磁場でイオン化したデブリ21の軌道を変えることによって、デブリ21がX線の取り出し部へ侵入するのを防止してもよい。

【0061】(実施例3) 本発明の第3の実施例を図6により説明する。本実施例は、微粒子混合ガスをターゲットにするレーザプラズマX線源において、照射するレーザ光2を時間差のある2つのパルスで照射するレーザプラズマX線源の例である。

【0062】2つのパルスを発生、照射する手段としてレーザ光分岐遅延光学系26を用いる。レーザ光分岐遅延光学系26は、レーザ発生器1のレーザ光を分岐させるビームスプリッター27と、分岐したレーザ光のうちの一方のレーザ光の光路を、他方のレーザ光の光路より長くするミラー28と、2つのレーザ光を合成して再び1つのレーザ光2にするビームミキサー29を備える。2つのレーザ光のパルスは、光路の差に比例して照射時間が遅延する。

【0063】先に微粒子混合ガスターゲット10に照射された第1のパルスで、レーザプラズマ11が発生する。そして次に照射された第2のパルスによってレーザプラズマ11を加熱することができ、X線発生効率を高めることができる。また、第1のパルスでは、完全に原子状態まで分解できなかった微粒子を、第2のパルスによる加熱で、更に分解できるので、プラズマ化可能領域

内からの粒子状デブリの発生を一層抑制できる。

【0064】また、2つのパルスの照射方法は本実施例のレーザ光分岐遅延光学系26を用いる場合のみではなく、2台のレーザ発生器1を用いるようにしても良い。

【0065】本実施例によれば、高いX線発生効率を得られ、かつ、粒子状デブリの発生が抑制できるという効果がある。

【0066】（実施例4）本発明の第4の実施例を図7により説明する。本実施例は、第1の実施例におけるターゲット回収装置113に金属微粒子と希ガスを分離する分離器30をもうけ、元の微粒子タンク6及びガスボンベ7に戻してリサイクルするようにしたものである。

【0067】よって、本実施例によれば、装置メンテナンスが低減でき、また、ガスとして、Xeガスのような高価な希ガスを用いる場合にはランニングコストが低減できるといえる効果がある。

【0068】

【発明の効果】本発明によれば、以下の効果が得られる。

【0069】粒子と気体とを混合してターゲットとし、ターゲット噴射装置がターゲットを噴射し、レーザ照射装置が噴射されたターゲットにレーザ光を照射することにより、粒子の溶融が起こらないので、デブリの発生を少なくすることができる。また、粒子のみのターゲット、および、気体のみのターゲットよりもX線変換効率がよい。また、レーザパルスに対して常にターゲットが供給されるので、X線を安定に発生させることができる。また、気体のみのターゲットよりもプラズマ化可能領域が大きく、プラズマ化可能領域に多くの粒子と気体分子が含まれるから、オプティカルブレイクダウンする微粒子の数も多く、発生するX線の輝度も、粒子のみターゲット、および、気体のみのターゲットより高くすることができる。また、レーザ光を照射すれば必ずレーザプラズマが生成され、レーザ光を無駄にせずにX線を安定に発生させることができる。

【0070】粒子の径がターゲットに照射されるレーザ光の径より小さいことにより、プラズマ化可能領域により多くの粒子が存在するので、発生するX線の輝度をより高くすることができる。

【0071】気体に希ガスを用いることにより、希ガス分子は化学的に安定でデブリにならないので、デブリの発生をより少なくすることができる。

【0072】低融点の金属の粒子を用いることにより、デブリの発生をより少なくすることができる。

【0073】それぞれの特性X線の波長がほぼ同じである金属粒子と希ガスとの混合体でターゲットを構成することにより、ターゲットにどちらか一方を含む場合よりも輝度の高いX線を得ることができる。

【0074】粒子と気体とを混合してターゲットとし、ターゲット噴射装置がターゲットを噴射し、ターゲット

回収装置がターゲット噴射装置の噴射口に対向して開口する回収口を有してターゲットを回収し、レーザ照射装置が、噴射口と回収口との間のターゲットにレーザ光を照射することにより、真空容器内を低圧に保つことができ、発生したX線の損失を防ぐことができる。

【0075】レーザ照射装置がレーザ光を線状に収束する収束レンズを有し、線状に収束されたレーザ光がターゲットに照射されることにより、発生した葉巻型のプラズマの長軸方向に強度が大きいX線を得ることができる。

【0076】集光ミラーが請求項1のレーザプラズマX線源で発生したX線をマスクに導き、X線縮小露光ミラーがマスクで反射したX線を縮小して半導体ウエハに投影することにより、レーザプラズマX線源でデブリの発生が少ないので、半導体露光装置の集光ミラー、マスク、X線縮小露光ミラーなどのX線光学素子や真空隔壁の損傷を防ぐことができる。また、レーザプラズマX線源から安定に輝度が高いX線が供給されるので、露光が不足することがなく、露光時間を短くすることができる。

【0077】また、ターゲット噴射装置によって噴射を行わずに、粒子と気体とを混合してターゲットとしてレーザ光を照射しても、粒子と気体とを混合したターゲットの熱伝導は小さく、粒子の溶融が起こらないので、デブリの発生を少なくすることができ、粒子のみのターゲット、および、気体のみのターゲットよりもX線変換効率がよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例であるレーザプラズマX線源を用いた半導体露光装置を示す図。

【図2】収束されたレーザ光の強度分布を示す図。

【図3】レーザプラズマを生成させた時の可視光の発光強度分布の測定結果を示す図。

【図4】プラズマ化可能領域内でブレイクダウンした数の頻度分布を示す図。

【図5】第2の実施例であるレーザプラズマX線源を示す図。

【図6】第3の実施例であるレーザプラズマX線源を示す図。

【図7】第4の実施例であるレーザプラズマX線源を用いた半導体露光装置を示す図。

【符号の説明】

1…レーザ発生器、2…レーザ光、3…収束レンズ、4…レーザ光透過窓、5…真空容器、6…微粒子タンク、7…ガスボンベ、8…混合器、9…供給ノズル、10…微粒子混合ガスターゲット、11…レーザプラズマ、12…回収ダクト、13…回収器、14…X線、15…X線集光ミラー、16…マスク、17…X線縮小露光ミラー、18…ウエハ、19…露光装置、20…真空排気系、21…デブリ、22…電子ビーム、23…イオン化

13

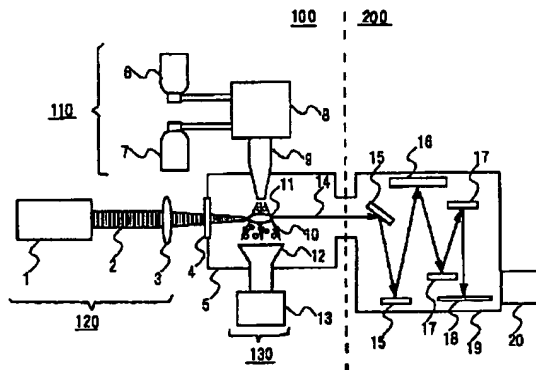
したデブリ、24…イオン回収電極、25…電源、26…レーザ光分岐遅延光学系、27…ビームスプリッター、28…ミラー、29…ビームミキサー、30…分離*

14

*器、31…リサイクル用配管、100…X線発生部、110…ターゲット供給装置、120…レーザ照射装置、130…ターゲット回収装置、200…露光部。

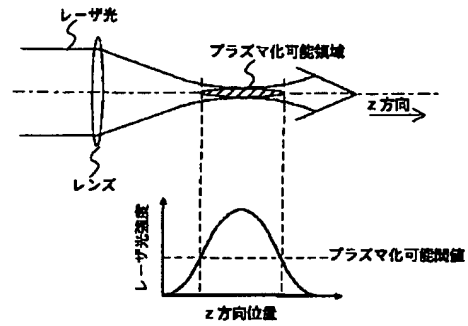
【図1】

図 1



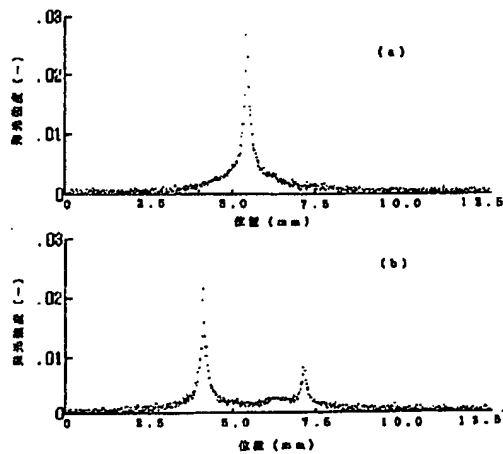
【図2】

図 2



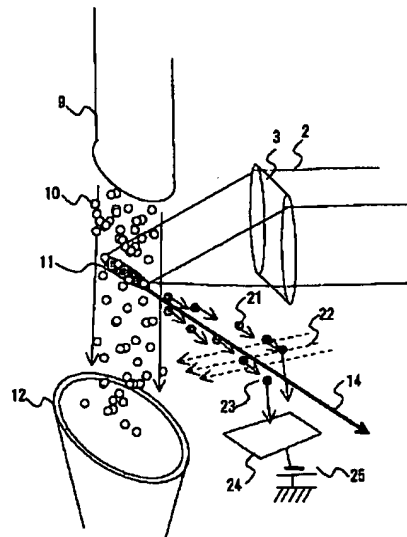
【図3】

図 3



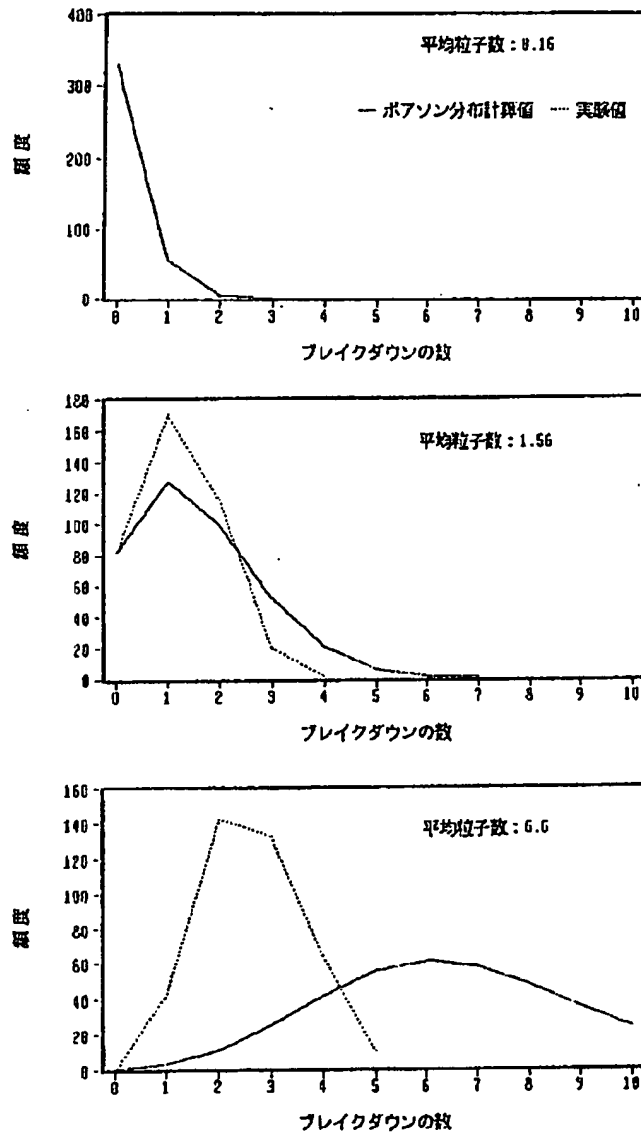
【図5】

図 5



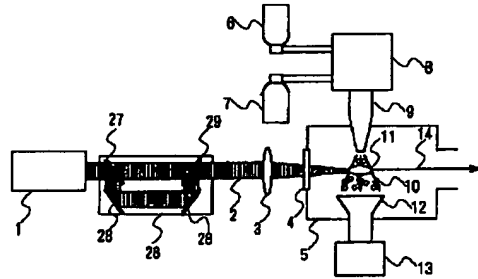
【図4】

図 4

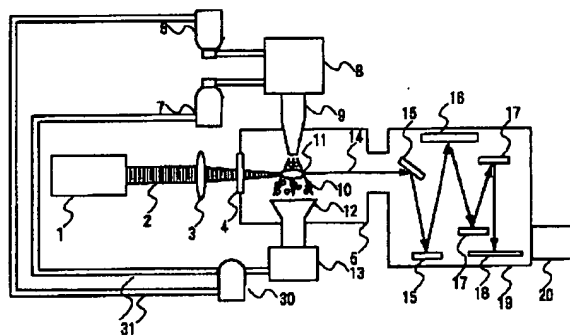


【図6】

図 6



7



K

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
 式会社日立製作所日立研究所内

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-221499

(43)Date of publication of application : 21.08.1998

(51)Int.Cl. G21K 5/02

G03F 7/20

H01J 35/00

H01L 21/027

H05G 2/00

H05H 1/24

(21)Application number : 09-024731 (71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 07.02.1997 (72)Inventor : MATSUI TETSUYA

YAMADA KIMIO

NISHI MASATSUGU

UENO MANABU

FUJIMA MASAHIRO

(54) LASER PLASMA X-RAY SOURCE AND DEVICE AND METHOD FOR
EXPOSING SEMICONDUCTOR USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the occurrence of debris and increase the efficiency in the conversion into X rays by using a mixture of particles and a gas as a target, jetting the target by a target-supplying device and irradiating the target with

laser light.

SOLUTION: A target-supplying device 110 is equipped with a fine particle tank 6 filled with metal fine particles which are sufficiently smaller than a laser in diameter and a gas cylinder 7 filled with a rare gas. The particles and the rare gas are mixed in a mixer 8 and the resultant mixture is squirted into a vacuum container 5 with a supplying nozzle 9. A target 10 made of a gas mixed with fine particles is irradiated with a laser beam 2 from a laser irradiator 120. Elements of metals and molecules of the rare gas in the target 10 made of the gas mixed with the fine particles optically break down and ionize. High-temperature and high-density laser plasma 11 is formed. X rays emitted from the laser plasma 11 are used in an exposure section 200. The target 10 made of the gas mixed with the fine particles conducts so little heat that the metal fine particles will not melt and that the molecules of the rare gas will not become debris, which makes it possible to reduce debris.

LEGAL STATUS [Date of request for examination] 14.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 20.08.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the laser plasma X line source characterized by having the target fuel injection equipment which a laser beam is irradiated at a target, the plasma is generated, and said target mixes a particle and a gas in the laser plasma X line source which generates an X-ray from the plasma, and injects said target, and laser radiation equipment which irradiates said target which had said laser beam injected.

[Claim 2] The path of said particle is the laser plasma X line source of claim 1 characterized by being smaller than the path of the laser beam irradiated by said

target.

[Claim 3] Said gas is the laser plasma X line source of claim 1 characterized by being rare gas.

[Claim 4] Said particle is the laser plasma X line source of claim 1 characterized by being the metal of a low-melt point point.

[Claim 5] Said target is the laser plasma X line source of claim 1 characterized by the wavelength of each characteristic X ray consisting of mixtures of the almost same metal particles and rare gas.

[Claim 6] In the laser plasma X line source which a laser beam is irradiated [line source] at a target, and the plasma is generated [line source], and generates an X-ray from the plasma The target fuel injection equipment which said target mixes a particle and a gas and injects said target, The target recovery system which has recovery opening which counters and carries out opening to the injection tip of said target fuel injection equipment, and collects said targets, It is the laser plasma X line source which is equipped with the laser radiation equipment which irradiates said target which had said laser beam injected, and is characterized by said laser radiation equipment being what irradiates said laser beam at said target between said injection tips and said recovery openings.

[Claim 7] Said laser radiation equipment is the laser plasma X line source of claim 1 characterized by the laser beam which has the convergent lens which converges said laser beam on a line, and it converged on the line being irradiated by said target.

[Claim 8] The semi-conductor aligner characterized by having the condensing mirror which leads to a mask the X-ray generated in the laser plasma X line source of claim 1, and said laser plasma X line source, and the X-ray contraction exposure mirror which reduces the X-ray which reflected with said mask, and is projected on a semi-conductor wafer.

[Claim 9] In the semiconductor device exposure approach which irradiates a laser beam at a target, is made to generate the plasma, leads the X-ray which was made to generate an X-ray and was generated from the plasma to a semi-conductor wafer, and exposes a semiconductor device pattern to said semi-conductor wafer The semiconductor device exposure approach characterized by having the step which mixes a particle and a gas, the step which injects the mixed particle and a gas in a vacuum housing, and the step which irradiates a laser beam by using as a target the mixture of the particle and gas which were injected.

[Claim 10] It is the laser plasma X line source characterized by said target mixing a particle and a gas in the laser plasma X line source which a laser beam is irradiated [line source] at a target, and the plasma is generated [line source], and generates an X-ray from the plasma.

[Claim 11] The semiconductor-device exposure approach characterized by to have the step which mixes a particle and a gas, and the step which irradiates a laser beam by using the mixture of a particle and a gas as a target in the semiconductor-device exposure approach which irradiates a laser beam at a target, is made to generate the plasma, leads the X-ray which was made to generate an X-ray and was generated from the plasma to a semi-conductor wafer, and exposes a semiconductor-device pattern to said semi-conductor wafer.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention irradiates a laser beam at a target, generates the plasma, and relates to the laser plasma X line source which generates an X-ray from the plasma.

[0002]

[Description of the Prior Art] JP,6-281799,A indicates irradiating a laser beam at the solid-state target of the shape of a tape rolled round, and generating an X-ray.

[0003] JP,61-153935,A indicates irradiating a laser beam at the dropped liquid metal, and generating an X-ray.

[0004] JP,2-100297,A indicates irradiating a laser beam at the target of the shape of a buret smaller than the diameter of a spot of a laser beam, and generating an X-ray.

[0005] Japanese Patent Application No. 57-41167 A number official report indicates irradiating a laser beam at the solidified rare gas or the particle of water, and generating an X-ray.

[0006] "Office automation SUE trend Inn OPUTIKUSU- and - photonics, the 4th volume, the EKUSUTO ream ultra violet lithography (OSA, Trends inOptics and Photonics, vol.4, EXTREME ULTRAVIOLET LITHOGRAPHY) (1996), and 66 pages" of things for which pressurization gas is injected in a vacuum housing, a laser beam is irradiated at the injected gas, and an X-ray is generated are indicated.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] If a laser beam is irradiated by the target, dielectric breakdown (optical breakdown) of the atom and molecule in a target will be carried out optically, they will be ionized, and the laser plasma will

generate them. An X-ray occurs from the generated laser plasma. With the classes and conditions of an element of a target, laser beam reinforcement required for optical breakdown changes. The lower limit of laser beam reinforcement in case optical breakdown takes place is called breakdown threshold.

[0008] A breakdown threshold is high in order of 1:gas (gas), 2:liquid, and 3:solid-state. In other words, laser beam reinforcement for plasma-izing the atom of the same number can be made lower than a gas when using the target of a solid-state and a liquid. Therefore, when using the target of a liquid and a solid-state, X-ray conversion efficiency (expressed with the energy of the generated X-ray to the energy of the irradiated laser) is higher than the case where a gaseous target is used.

[0009] However, in the target of solid-states, such as the shape of massive [larger] than the diameter of laser, or a tape, and a liquid, when the field where the laser beam was irradiated plasma-izes, propagation and its circumference fuse around the field where the laser beam was irradiated with the heat generated by the exposure of a laser beam. And the part fused by the expansion pressure force accompanying generating of the laser plasma disperses. This

piece of scattering calls it debris, and there is as ** and its condition from the thing of the shape of the shape of ion, and a cluster to the thing of the shape of several 10-micrometer particle. This debris adheres to the optical element in a vacuum housing etc., and does damage.

[0010] Although debris will also decrease and X-ray conversion efficiency will not have a solid-state and a liquid, and a change since there is no particle in a perimeter if the target of a solid-state and a liquid is made into the shape of a particle smaller than the diameter of laser, it is difficult to set and supply a particle-like target to the exposure of a laser beam, and it also difficult to be stabilized and to generate an X-ray.

[0011] Although the target of the particle which froze the stable gas chemically [rare gas etc.] does not generate debris since it becomes a stable gas chemically [rare gas etc.] even if it fuses, it is difficult to supply and it also difficult to be stabilized and to generate an X-ray. Moreover, since the wave number of characteristic X ray is restricted, if there are the wavelength and the difference for which it asks, X-ray conversion efficiency will become lower than a metal target substantially.

[0012] On the other hand, since heat conduction to a perimeter is small and

melting does not happen in a gaseous target compared with the target of a solid-state and a liquid, there is little debris, and although it can be stabilized since it can supply continuously, and an X-ray can be generated, since a breakdown threshold is high and the atom density of a target also has it, X-ray conversion efficiency is lower than a solid-state and a liquid. [low] The purpose of this invention has little generating of debris, and it is to provide the semi-conductor aligner list using a laser plasma X line source and it with high X-ray conversion efficiency with the semi-conductor exposure approach.

[0013]

[Means for Solving the Problem] The description of this invention of attaining the above-mentioned purpose is to irradiate a laser beam at the target with which the particle and the gas were mixed, it considered as the target, the target fuel injection equipment injected the target, and laser radiation equipment was injected. According to this description, heat conduction of the target which mixed the particle and the gas is small, and since melting of the particle of the periphery of the field where the laser beam was irradiated does not happen, generating of debris can be lessened.

[0014] Moreover, since the target which mixed the particle and the gas is

injected, and serves as a fluid and a target is always supplied to a laser pulse, stability can be made to generate an X-ray.

[0015] Moreover, although the volume through which the laser beam of the target which mixed the particle and the gas pierces is the same as the case of a gaseous target Since a breakdown threshold is the same as that of a solid target and only a gas is lower than a target Since a plasma-ized possible field is larger than a gaseous target and many particles and gas molecules are contained to a plasma-ized possible field, the number of the particles which carry out optical breakdown Since only a particle increases more than the case of a target and a gaseous target, the brightness of the X-ray to generate can also make only a particle higher than a target and a gaseous target. Therefore, X-ray conversion efficiency can also be made high.

[0016] Moreover, many particles and gas molecules exist in a plasma-ized possible field, since the frequency where optical breakdown does not take place is 0, if a laser beam is irradiated, the laser plasma will surely be generated, and it can make stability generate an X-ray, without making a laser beam useless.

[0017] Since other descriptions of this invention are in the path of a particle being smaller than the path of the laser beam irradiated by the target and many

particles exist by the plasma-ized possible field, the brightness of the X-ray to generate can be made higher.

[0018] Other descriptions of this invention are in a gas being rare gas, and since a rare-gas molecule is chemically stable, even if it adheres to the optical element in a vacuum housing etc. in the state of ion, since it combines with an electron and carbonates, it does not adhere as DEGURI. Therefore, since it does not become debris as a result, generating of debris can be lessened more.

[0019] Other descriptions of this invention are in a particle being the metal of a low-melt point point, and since the particle by which the laser beam was irradiated is plasma-ized completely, generating of debris can be lessened.

[0020] A target has other descriptions of this invention in consisting of mixtures of the metal particles and rare gas with the almost same wavelength of each characteristic X ray. According to this description, since metal particles and a rare-gas molecule emit the X-ray of the same wavelength in the plasma, an X-ray with brightness higher than the case where either is included in a target is obtained.

[0021] A particle and a gas are mixed, it considers as a target, a target fuel injection equipment injects a target, and other descriptions of this invention have

recovery opening in which a target recovery system counters and carries out opening to the injection tip of a target fuel injection equipment, and collect targets, and laser radiation equipment has them in irradiating a laser beam at the target between an injection tip and recovery opening. Since the particles and gas molecules which returned to the particle and gas molecule which were not plasma-ized, or the steady state are collected according to this description, the inside of a vacuum housing can be maintained at low voltage, and loss of the generated X-ray can be prevented.

[0022] Other descriptions of this invention are for the laser beam which laser radiation equipment has the convergent lens which converges a laser beam on a line, and converged it on the line to be irradiated by the target. If the laser beam which it converged on the line is irradiated according to this description, the plasma of the leaf coil former occurs and the X-ray with large reinforcement with which many X-rays in the direction of a major axis of the plasma are emitted can be obtained.

[0023] Other descriptions of this invention are for a condensing mirror to lead to a mask the X-ray generated in the laser plasma X line source of claim 1, reduce the X-ray which the X-ray contraction exposure mirror reflected with the mask,

and project on a semi-conductor wafer. According to this description, by the laser plasma X line source, since there is little generating of debris, damage on X-ray optics components, such as a condensing mirror of a semi-conductor aligner, a mask, and an X-ray contraction exposure mirror, or a vacuum septum can be prevented. Moreover, since an X-ray with high brightness is supplied to stability from a laser plasma X line source, exposure does not run short and the exposure time can be shortened.

[0024] moreover, a target fuel injection equipment -- even if it mixes a particle and a gas and irradiates a laser beam as a target, without injecting, heat conduction of the target which mixed the particle and the gas is small, since melting of a particle does not happen, generating of debris can be lessened, and X-ray conversion efficiency is better than the target of only a particle, and a gaseous target.

[0025]

[Embodiment of the Invention] Artificers invented carrying out a solid-state or a liquid with the target of the shape of a particle sufficiently smaller than the diameter of laser paying attention to the high X-ray conversion efficiency of a solid-state and a liquid target and the high brightness of an X-ray, and debris

with few gas targets. And in order to be stabilized and to generate an X-ray, the target of the shape of a particle of a solid-state and a liquid was mixed into the gas, and it invented injecting and supplying into a vacuum housing.

[0026] Moreover, the target with which artificers mixed the particle and gas of a solid-state or a liquid It confirms in an experiment that a breakdown threshold is the same as the breakdown threshold of the particle of a solid-state or a liquid about (particle mixing Gaster get is called hereafter) although the gas is included. Although it is a little smaller than the solid-state or liquid target of the shape of massive and a tape Compared with the target (a particle target is called hereafter) which consists only of a particle of a solid-state or a liquid, and the target (a gas target is called hereafter) which consists only of a gas, it discovered having big X-ray conversion efficiency.

[0027] Below, the example of the semi-conductor aligner using X line source and it using particle mixing Gaster get is explained.

[0028] (Example 1) The semi-conductor aligner using the laser plasma X line source which is the 1st example of this invention is shown in drawing 1 . A semi-conductor aligner consists of the X-ray generating sections 100 and the exposure sections 200 which generate an X-ray. The exposure section 200

leads X-ray 14 generated in the X-ray generating section 100 to a mask 16 by the X-ray condensing mirror 15, reduces the mask pattern reflected with the mask 16 by the X-ray contraction exposure mirror 17, and projects it on a wafer 18 (sample). The X-ray generating section 100 is explained in detail. The X-ray generating section 100 consists of the vacuum housing 5 which encloses the surroundings of a target, a target feeder 110 supplied in a vacuum housing 5 by using particle mixed gas as a target, laser radiation equipment 120 which irradiates a laser beam 2 at the particle mixing Gaster get 10, and a target recovery system 130 which collects the particle mixed gas in a vacuum housing 5.

[0029] The target feeder 110 is equipped with the supply nozzle 9 which injects the particle mixed gas built with the mixer 8 which mixes the particle tank 6 by which it filled up with the metal particle sufficiently smaller than the diameter of laser, the chemical cylinder 7 with which it filled up with rare gas, the metal particle supplied from the particle tank 6, and the rare gas supplied from a chemical cylinder 7, and the mixer 8 in a vacuum housing 5.

[0030] Laser radiation equipment 120 is equipped with the laser beam generator 1 which generates a laser beam 2, and the convergent lens 3 which converges a

laser beam 2. Pulse width, such as an YAG laser and excimer laser, is several 10 or less ns, and the laser beam generator 1 has that good in which the output per one pulse generates the laser beam 2 of several 10 J from several 10 mJ(s).

A laser beam 2 is on the particle mixing Gaster get in a vacuum housing 5, and it converges it with a convergent lens 3 so that it may become several 10 - 100 micrometers of numbers. In order to generate the laser plasma 11, the energy density on the particle mixing Gaster get 10 is $10^{15} - 10^{22} \text{ W/m}^2$. Extent is good.

[0031] The target recovery system 130 is supplied in a vacuum housing 5, and or it did not plasma-ize, it is equipped with the recovery duct 12 which draws the metal particle and rare gas which returned to the steady state, and a reclaimer 13.

[0032] In the vacuum housing 5, it is arranged so that the injection tip of the supply nozzle 9 and recovery opening of the recovery duct 12 may counter. The laser beam 2 from laser radiation equipment 120 penetrates the laser beam transparency aperture 4 prepared in the wall surface of a vacuum housing 5, and is irradiated by the particle mixing Gaster get 10 injected from the supply nozzle 9. The inside of a vacuum housing 5 is maintained at the low voltage force by the vacuum pump (not shown). For example, if the pressure in a vacuum housing 5

is set to 10^{-2} - 10^{-3} torr and the pressure in the supply nozzle 9 is carried out more than Number torr, it spouts and the particle mixing Gaster get 10 will be in the condition of a fluid. And or it did not plasma-ize, the particle mixing Gaster get 10 which returned to the steady state goes into the recovery duct 12, and is removed from the inside of a vacuum housing 5.

[0033] If the laser beam 2 completed as the particle mixing Gaster get 10 is irradiated, the metallic element and rare-gas molecule under particle mixing Gaster get 10 will ionize by carrying out dielectric breakdown (optical breakdown) optically by the powerful electric field of a laser beam 2 etc. the range through which the electron generated by ionization of a metallic element and a rare-gas molecule absorbs the energy of a laser beam 2 according to processes, such as reverse braking radiation, and is heated, and the laser beam 2 of the particle mixing Gaster get 10 pierces -- an elevated temperature -- the high-density laser plasma 11 is formed.

[0034] The electron temperature and the consistency of the laser plasma 11 are 10^{20} - 10^{22} /cm³ at several 100eV or more and electron density in electron temperature, although it changes with the class of the metallic element contained in the particle mixing Gaster get 10, and element of rare gas, and the

class and conditions of laser. It is good for the plasma of extent to occur.

[0035] The X-ray of a continuous spectrum is emitted by the process of the freedom-free transition in braking radiation of the electron in the laser plasma 11, and the recombination process of the plasma, or freedom-restraint transition from the laser plasma 11, and characteristic X ray is emitted by the process of the restraint-restraint transition in the recombination process of the plasma. The X-ray emitted from the laser plasma 11 is used in the adjoining exposure section 200.

[0036] Next, the relation between the number of the particles in a plasma-ized possible field and generating of an X-ray is explained.

[0037] The relation of the configuration of a laser beam 2 and laser beam intensity distribution which were completed with the convergent lens 3 is shown in drawing 2 . It converges a laser beam 2 and laser beam reinforcement is as large as the place where a path is small. Although optical breakdown takes place [laser beam reinforcement] in the field beyond a breakdown threshold among the fields through which the laser beam 2 of the particle mixing Gaster get 10 pierces and the laser plasma occurs, laser beam reinforcement does not generate the laser plasma in the field below a breakdown threshold. The field

which the laser plasma generates is called plasma-ized possible field.

[0038] If the path of a particle is smaller than the path of a laser convergence section cross section enough, the probability ($K(x)$) for x particles to exist in a plasma-ized possible field is expressed with a degree type according to Poisson distribution. Here, the particle consistency under V (m^3) and particle mixing Gaster get 10 is set to n ($/m^3$) for the volume of a plasma-ized possible field.

[0039]

[Equation 1]

[0040] (However, $\alpha=nV$) Therefore, if it substitutes in quest of the volume V of the plasma-ized possible field decided from the breakdown threshold of a particle (several 1) and the particle consistency n of particle mixed gas is changed, the particle in a plasma-ized possible field can be made into the number of desired by probability $K(x)$.

[0041] Next, the number of the particles which carry out optical breakdown with the number of the particles in the plasma-ized possible field when irradiating a laser beam 2 at the particle mixing Gaster get 10, and generating the laser

plasma 11 is explained. In an experiment, the path of a laser convergence section cross section was set to about 10 micrometers using the laser beam 2 of the 2nd higher harmonic (wavelength of 532nm) of an YAG laser by output 100mJ / pulse (about 10ns of pulse width). In particle mixed gas, it is 0.5 micrometers. The particle and rare gas of a path were used.

[0042] The result of having measured the luminescence intensity distribution of the light at the time of irradiating the laser of one pulse in the direction of laser radiation (the direction of z of drawing 2), and making the laser plasma generating is shown in drawing 3 . If a particle (a metal particle and rare-gas molecule) plasma-izes and emits light strongly (i.e., if a particle carries out optical breakdown), it will become the peak of luminescence reinforcement and will be measured. When there are two particles which one peak appeared and carried out the optical breakdown of the (a) into the plasma-ized possible field when there was a particle which carried out optical breakdown in a plasma-ized possible field, as for (b), two peaks appear.

[0043] A number (calculated value) of a particle which carried out optical breakdown of frequency distribution calculated using a number (experimental value) of a particle of frequency distribution which carried out optical breakdown

at the time of irradiating the laser of one pulse and making the laser plasma generate, and the Poisson distribution of (several 1) is shown in every [in a plasma-ized possible field] average particle number alpha at drawing 4 .

[0044] The average particle number alpha is about 1.5. Below, it turns out that calculated value and an experimental value are mostly in agreement, and the particle in a plasma-ized possible field carries out optical breakdown as theoretical. Moreover, the frequency in the condition (condition that breakdown is 0) that the laser plasma did not occur in this case even if it irradiated laser is high.

[0045] On the other hand, the average particle number alpha is 6.6. The frequency distribution of an experimental value is shifted from calculated value by the case. That is, there are few particles which carried out optical breakdown in the experiment than calculated value. Since the particle which carried out optical breakdown absorbs a laser beam, if many particles carry out the optical breakdown of this, it runs short of laser beam reinforcement, and is considered because the particle beyond it cannot be broken down. However, if laser beam reinforcement is strengthened further, the number of the particles which carry out optical breakdown can be increased.

[0046] Moreover, in this case, since the frequency (the number of the particles which carry out optical breakdown is the frequency of 0) where optical breakdown does not take place is 0, if a laser beam is irradiated, the laser plasma will surely be generated. Therefore, the direction of conditions of this level can make stability generate an X-ray, without making a laser beam useless.

[0047] According to this example, the following effectiveness is acquired.

[0048] In this example, X-ray conversion efficiency is better than a metal particle target and rare Gaster get by using the particle mixing Gaster get which mixed the metal particle and rare gas of a laser beam smaller than a path.

[0049] Since particle mixing Gaster get has small heat conduction, melting of a metal particle does not happen by the periphery of the field which has irradiated the laser beam and a rare-gas molecule does not become debris, debris can be lessened.

[0050] Although the volume of the particle mixing Gaster get through which a laser beam pierces is the same as the case of rare Gaster get, since a breakdown threshold is lower than a gas target as well as a solid-state metal target, its plasma-ized possible field is larger than a gas target. And since many metal particles and the molecule of rare gas are contained to this plasma-ized

possible field and the number of the particles which carry out optical breakdown increases more than the case of a metal particle target and rare Gaster get, the brightness of an X-ray becomes high.

[0051] Moreover, since the frequency where optical breakdown does not take place is 0, if a laser beam is irradiated, the laser plasma will surely be generated, and it can make stability generate an X-ray, without making a laser beam useless, since many particles exist in a plasma-ized possible field.

[0052] Since a laser beam is irradiated by the target which injected the target which mixed a metal particle and rare gas in the vacuum housing 5, was injected and became a fluid and a target is always supplied to a laser pulse, stability can be made to generate an X-ray in this example.

[0053] In this example, since the targets which were not plasma-ized are collected, the inside of a vacuum housing 5 can be maintained at low voltage, and since absorption of the X-ray by the gas in a vacuum housing 5 is prevented, loss of the generated X-ray can be prevented.

[0054] What is necessary is to plasma-ize not only in a metal and just to generate an X-ray in this example, although the metal particle was used. Moreover, if the particle of a low-melt point point is used, since it will be more

completely decomposed in the shape of an atom in a plasma-ized possible field, generating of debris can be controlled.

[0055] Moreover, it is good for the element of the particle of a solid-state or a liquid, and a gaseous element to choose the element which generates the same characteristic X ray as the wavelength range of a desired X-ray. With the laser plasma, since the matter is ionizable to a very high valence, a K edge shell and not only an L shell but the characteristic X ray more than an M shell can be generated. For example, if the particle of elements, such as Sn and Sb, is used, since the characteristic X ray of an M shell of Sn, Sb, etc. is about 13nm, the about 13nm X-ray of a soft-X-ray field will be obtained. Moreover, even if it uses Xe which emits about 13nm characteristic X ray to a gas, an about 13nm X-ray is obtained. If the particle and Xe gas of an element, such as Sn and Sb, are mixed and it uses for a target, an about 13nm X-ray with brightness higher than the case where either is included in a target will be obtained.

[0056] (Example 2) Drawing 5 explains the 2nd example of this invention. This example is an example which formed the equipment which collects the debris which disperses in the direction in which directivity is given to the X-ray emitted to the laser plasma X line source of the 1st example, and an X-ray is taken out.

[0057] The laser beam 2 completed with the convergent lens 3 is irradiated, and the particle mixed gas injected from the supply nozzle 9 in the vacuum housing (not shown) is made to generate an X-ray like the 1st example. In this example, using the convergent lens 3 which completes a laser beam 2 as a line, the electron gun which irradiates an electron beam 22 around the X-ray emitted is prepared out of a vacuum housing through the aperture (not shown) of a vacuum housing (not shown), and the ion recovery electrode 24 which impressed the negative electrical potential difference to the surroundings of the X-ray emitted is formed further.

[0058] If the laser beam 2 which it converged on the line is irradiated by the particle mixing Gaster get 10, the laser plasma 11 of the leaf coil former will occur, and many X-rays 14 in the direction of a major axis of the laser plasma 11 will be emitted. Thus, if directivity is given to the X-ray emitted, an X-ray with large reinforcement can be obtained.

[0059] If an electron beam 22 is irradiated at the debris 21 of the shape of the shape of a particle which disperses in the direction of a major axis, and an atom, the debris 21 of the shape of the shape of a particle and an atom will be cation-ized completely. The cation-ized debris 21 is lengthened by the ion

recovery electrode 24, and is collected. The debris which plasma-izes and disperses in the shape of ion can also collect these recovery electrodes 24. Therefore, the debris 21 of the takeoff connection (not shown) of an X-ray can be reduced extremely, and damage on an X-ray optics component or a vacuum septum can be prevented.

[0060] Moreover, you may prevent that debris 21 invades into the takeoff connection of an X-ray by changing the orbit of the debris 21 ionized in the magnetic field instead of the recovery electrode 24 which collects the debris 21 ionized in electric field.

[0061] (Example 3) Drawing 6 explains the 3rd example of this invention. This example is an example of the laser plasma X line source which irradiates the laser beam 2 to irradiate by two pulses with time difference in the laser plasma X line source which targets particle mixed gas.

[0062] The laser beam branching delay optical system 26 is used as a means to generate two pulses and to irradiate. The laser beam branching delay optical system 26 is equipped with the beam mixer 29 which compounds the beam splitter 27 which branches the laser beam of the laser generator 1, the mirror 28 which makes the optical path of one laser beam of the branched laser beams

longer than the optical path of the laser beam of another side, and two laser beams, and is again made into one laser beam 2. As for the pulse of two laser beams, irradiation time is delayed in proportion to the difference of an optical path.

[0063] The laser plasma 11 occurs by the 1st pulse previously irradiated by the particle mixing Gaster get 10. And by the 2nd pulse irradiated by the degree, the laser plasma 11 can be heated and X-ray generating effectiveness can be raised. Moreover, by the 1st pulse, since it is heating by the 2nd pulse and the particle which was not able to be completely decomposed to the atomic condition can be decomposed further, generating of the particle-like debris out of a plasma-ized possible field can be controlled further.

[0064] Moreover, you may make it the exposure approach of two pulses use not only when using the laser beam branching delay optical system 26 of this example, but two laser generators 1.

[0065] According to this example, high X-ray generating effectiveness is acquired, and it is effective in the ability to control generating of particle-like debris.

[0066] (Example 4) Drawing 7 explains the 4th example of this invention. This

example forms the eliminator 30 which divides a metal particle and rare gas into the target recovery system 113 in the 1st example, returns it to the original particle tank 6 and an original chemical cylinder 7, and is recycled.

[0067] Therefore, according to this example, in being able to reduce an equipment maintenance and using expensive rare gas like Xe gas as gas, it is effective in the ability to have reduced the running cost.

[0068]

[Effect of the Invention] According to this invention, the following effectiveness is acquired.

[0069] Since melting of a particle does not happen by irradiating a laser beam at the target with which the particle and the gas were mixed, it considered as the target, the target fuel injection equipment injected the target, and laser radiation equipment was injected, generating of debris can be lessened. Moreover, X-ray conversion efficiency is better than the target of only a particle, and a gaseous target. Moreover, since a target is always supplied to a laser pulse, stability can be made to generate an X-ray. Moreover, stability can be made to generate an X-ray, without [which only the particle of the brightness of the X-ray which there are many particles which carry out optical breakdown since a plasma-ized

possible field is larger than a gaseous target and many particles and a gas molecule are contained to a plasma-ized possible field, and is generated is higher than the target of only a target and a gas, and can be carried out] surely generating the laser plasma, if a laser beam is irradiated again, and making a laser beam useless.

[0070] According to the path of a particle being smaller than the path of the laser beam irradiated by the target, since many particles exist by the plasma-ized possible field, the brightness of the X-ray to generate can be made higher.

[0071] By using rare gas for a gas, a rare-gas molecule is chemically stable, and since it does not become debris, generating of debris can be lessened more.

[0072] By using the particle of the metal of a low-melt point point, generating of debris can be lessened more.

[0073] By a target consisting of mixtures of the metal particles and rare gas with the almost same wavelength of each characteristic X ray, an X-ray with brightness higher than the case where either is included in a target can be obtained.

[0074] When mix a particle and a gas, it considers as a target, and a target fuel injection equipment injects a target, it has recovery opening in which a target

recovery system counters and carries out opening to the injection tip of a target fuel injection equipment, targets are collected and laser radiation equipment irradiates a laser beam at the target between an injection tip and recovery opening, the inside of a vacuum housing can be maintained at low voltage, and loss of the generated X-ray can be prevented.

[0075] When it has the convergent lens with which laser radiation equipment converges a laser beam on a line and the laser beam which it converged on the line is irradiated by the target, an X-ray with large reinforcement can be obtained in the direction of a major axis of the plasma of the generated leaf coil former.

[0076] Since there is little generating of debris at a laser plasma X line source when a condensing mirror leads to a mask the X-ray generated in the laser plasma X line source of claim 1, reduces the X-ray which the X-ray contraction exposure mirror reflected with the mask and projects on a semi-conductor wafer, damage on X-ray optics components, such as a condensing mirror of a semi-conductor aligner, a mask, and an X-ray contraction exposure mirror, or a vacuum septum can be prevented. Moreover, since an X-ray with high brightness is supplied to stability from a laser plasma X line source, exposure does not run short and the exposure time can be shortened.

[0077] Moreover, even if it mixes a particle and a gas and irradiates a laser beam as a target, without injecting with a target fuel injection equipment, heat conduction of the target which mixed the particle and the gas is small, since melting of a particle does not happen, generating of debris can be lessened, and X-ray conversion efficiency is better than the target of only a particle, and a gaseous target.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing showing the semi-conductor aligner using the laser plasma X line source which is the 1st example.

[Drawing 2] Drawing showing the intensity distribution of the laser beam which it converged.

[Drawing 3] Drawing showing the measurement result of the luminescence intensity distribution of the light at the time of making the laser plasma generate.

[Drawing 4] Drawing showing a number of frequency distribution broken down in the plasma-ized possible field.

[Drawing 5] Drawing showing the laser plasma X line source which is the 2nd example.

[Drawing 6] Drawing showing the laser plasma X line source which is the 3rd example.

[Drawing 7] Drawing showing the semi-conductor aligner using the laser plasma X line source which is the 4th example.

[Description of Notations]

1 [-- Laser beam transparency aperture,] -- A laser generator, 2 -- A laser beam, 3 -- A convergent lens, 4 5 [-- A mixer, 9 / -- Supply nozzle,] -- A vacuum housing, 6 -- A particle tank, 7 -- A chemical cylinder, 8 10 -- Particle mixing Gaster get, 11 -- The laser plasma, 12 -- Recovery duct, 13 [-- Mask,] -- A reclaimer, 14 -- An X-ray, 15 -- An X-ray condensing mirror, 16 17 [-- Evacuation system,] -- An X-ray contraction exposure mirror, 18 -- A wafer, 19 -- An aligner, 20 21 [-- Ion recovery electrode,] -- Debris, 22 -- An electron beam, 23 -- The debris, 24 which were ionized 25 -- A power source, 26 -- Laser beam branching delay optical system, 27 -- Beam splitter, 28 [-- Piping for recycle, 100 / -- The X-ray generating section, 110 / -- A target feeder, 120 / -- Laser radiation equipment, 130 / -- A target recovery system, 200 / -- Exposure section.] -- A mirror, 29 -- A beam mixer, 30 -- An eliminator, 31

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.